

微电磁力称重传感器偏载性能调整方法

□刘海 王喜阳 刘文佳 肖福礼 行和平 孙怀号

(陕西省计量科学研究院, 西安 710100)

【摘要】微电磁力称重传感器是以罗伯威尔结构为基础的双杠杆式电磁平衡原理而制成的, 广泛应用于高精度电子天平、质量比较仪、称重模组等领域。由于其结构中的簧片数量近20个, 且簧片最薄处仅为0.1mm, 机械加工很难保证成对的簧片在结构尺寸与空间相对位置上具有绝对的对称性, 使同一载荷在承载器的前后左右及中间位置上产生了差异性输出, 影响了微电磁力称重传感器的偏载性能。为解决以上问题, 提出了一种偏载性能调整程序, 系统地阐述了不同情况下的调整策略, 为该类称重传感器的偏载性能提供了一种新的技术路径。

【关键词】微电磁力称重传感器; 偏载性能; 力簧片

文献标识码: A

文章编号: 1003-1870 (2025) 05-0016-04

Adjustment Methods for Eccentric Load Performance of Micro-electromagnetic Force Load Cells

【Abstract】 The micro-electromagnetic force load cell is developed based on the Roberval structure according to the double-lever electromagnetic balance principle, which is widely used in high-precision electronic balance, mass comparator, weighing module and other fields. Since the structure incorporates nearly 20 reeds with the thinnest portion of only 0.1 mm, it is difficult to guarantee absolute symmetry in structural size and relative spatial position between paired reeds through machining, so that the same load produces differential outputs at various positions (front, back, left, right and middle) of the load receptor, thus affecting the eccentric load performance of the micro-electromagnetic force load cell. In order to solve the above problem, an eccentric load performance adjustment procedure is proposed, which systematically expounds the adjustment strategies under different conditions, and provides a new technical path for the eccentric load performance of such load cell.

【Keywords】 micro-electromagnetic force load cell; eccentric load performance; force reed

引言

目前我国高精度电子天平大部分市场被瑞士梅特勒-托利多与德国赛多利斯两家西方企业所占据。其中, 赛多利斯电子天平单体称重传感器为数控五轴加工中心一体铣削而成, 该类单体称重传感器的簧片厚度为关键尺寸, 最薄处仅为0.1mm, 簧片的加工厚度直接影响到称重传感器的称量精度。此外,

单体称重传感器偏载性能的调整还需要对簧片厚度进行人工细微打磨, 直至满足称重传感器偏载性能要求。

随着国内各科研单位与天平制作企业对单体称重传感器的不断重视, 对高精度电子天平的研究日益增多。文献[1]提到的电子天平设计中只涉及到了传统分体式传感器偏载的调整方法; 文献[2]提到的

电子天平单体传感器故障问题分析与维修只涉及到了传感器线性问题，并未涉及其偏载性能的调整与维修；文献[3]提出的一体化称重传感器只涉及到了传感器的机械加工工艺研究，并未涉及到传感器性能调整；文献[4]对赛多利斯单体称重传感器的进行了介绍，但并未对其偏载性能及调整进行专述。综上所述，国内暂无赛多利斯单体称重传感器偏载性

能系统性调整方法的研究。因此，研究出一种单体称重传感器偏载性能调整方法方法有利于该类传感器的调整与维修，同时为单体称重传感器偏载性能的调整提供了一种新的思路。

1 微电磁力称重传感器工作原理及机械结构

微电磁力称重传感器主要应用于电子分析天平之中，其结构组成示意简图如下图1所示。

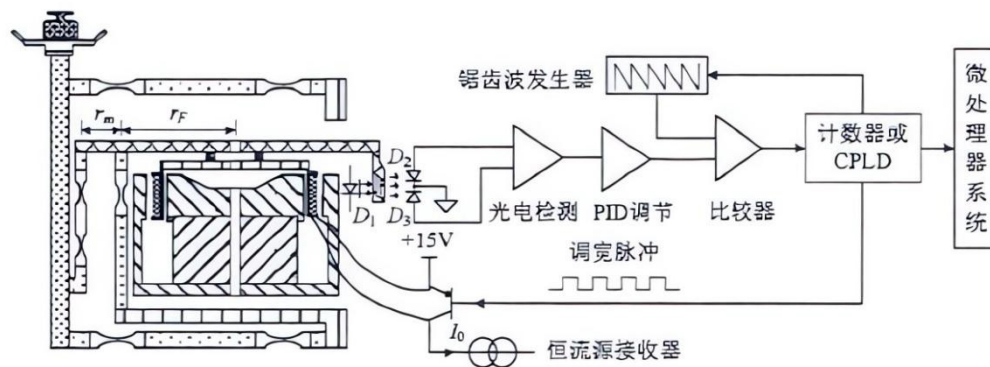


图1 电子分析天平称量原理

物体加载前，电磁力平衡传感器闭环结构处于杠杆平衡状态。物体加载后，被称物体的质量 m 使电磁力平衡传感器内横梁组件上的遮光片向上移动，光敏二极管 D_2 和 D_3 感应到 D_1 发出的光，产生变化的电流信号，经 I/V 转换和PID调节产生电压信号输出，该电压信号通过与已知的锯齿波信号比较后输出脉宽调制信号。利用该脉宽调制信号控制晶体管开关，减少流过三极管的集电极电流，使得流过线圈的电流将随脉宽调制信号的宽度变化而变化，此时脉宽调制信号的宽度与物体的质量成比例关系。通电线圈在永磁体磁路气隙磁场作用下，产生垂直向下的电磁力 F ，使遮光片往回移动，光敏二极管产生的电流信号减弱，PID的积分环节使脉宽调制信号的宽度继续减小，流过线圈的电流继续增大，直至遮光片回到初始平衡的位置。此时线圈在电流增量与气隙磁场共同作用下产生的力 F ，且力 F 的力矩与被称物体重力力矩相当，使得传感器处于杠杆平衡状态^[4]。

1.1 簧片结构

簧片作为微电磁力称重传感器机械结构上的关键部位，对其计量性能性能起到决定性的作用。单

体称重传感器的簧片种类细分为弹性簧片、耦合簧片、支点簧片三种，其主要性能是对力进行传导或辅助力传导。微电磁力称重传感器采用罗伯-威尔平行导向机构利用杠杆原理传力，对称重传感器施加质量载荷时，力主要从传力簧片上进行传导，支点簧片作为杠杆传力原理的支点以辅助力的传导，耦合簧片既能传导一部分力又起到支点簧片的作用，上述三种簧片共同作用，最终实现待测件重力力矩与永磁体电磁力的力矩平衡，得出电压信号，经过 A/D 转换从而测出待测物体的实际重量值。

1.2 偏载的来源

微电磁力称重传感器主要由数控五轴加工中心一体铣削成型，对机械加工精度要求较高。由于加工误差的客观存在，很难保证成对的簧片尺寸与空间相对位置完全一致；称重传感器机械加工完成后，还要加装线圈与永磁体部件，线圈与永磁体两者之间的配合误差也会导致称重传感器偏载超差；此外，微电磁力称重传感器整体安装在产品内部时也会存在装配误差，这也是导致其偏载性能超差的因素之一。因此，微电磁力称重传感器偏载性能要经过人工调整后才能完全满足电子天平性能要求。

调整称重传感器偏载性能时，需要在偏载调整区域安装预紧螺栓，通过调节螺栓的松紧程度来实现不同预紧力的加载，从而实现对称重传感器偏载

性能的初步调整。在下图2~ 图3 中，红色虚线圈出区域为簧片区域，紫色虚线圈出的部位为偏载预紧螺栓拧紧区域。

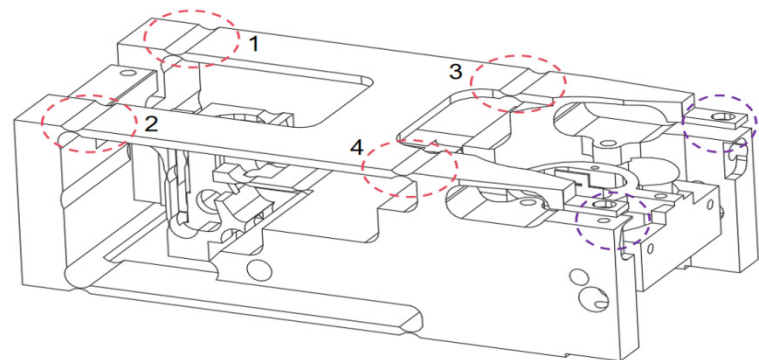


图2 单体称重传感器机械结构示意图

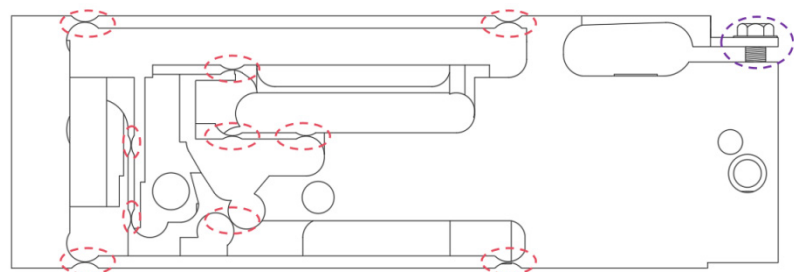


图3 单体称重传感器与预紧螺栓配合机械结构主视图

2 单体称重传感器偏载性能调整方法

2.1 调整位置确定

综上所述，导致微电磁力称重传感器偏载性能超差的因素较多，为简化工作流程，本方法确定4个簧片加2个调整螺栓作为调整位置来修正偏载超差问题。称重传感器上端面4个簧片成组能够对称量盘上

前、后、左、右四个区域的称量示值进行调整，2个预紧螺栓能够调节称量盘上左、右两个区域称量示值的大偏差，如下图4所示。因此，通过对称重传感器上端面4个簧片的打磨与称重传感器2个预紧螺栓的调整就能够实现传感器偏载性能的调节。

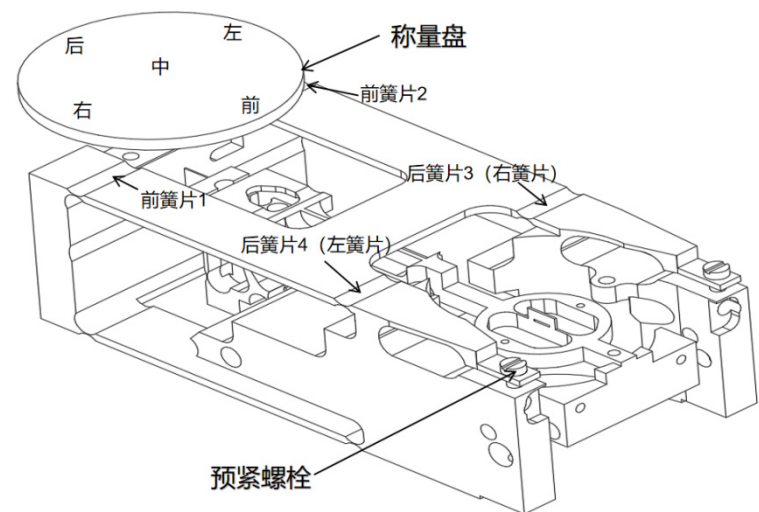


图4 称重传感器上端面簧片位置分布示意图

2.2 调整程序

通过大量实验总结出上述簧片与预紧螺栓的配

合调节顺序能够大幅提高称重传感器偏载性能调整效率。现将调整程序流程如下图5所示。

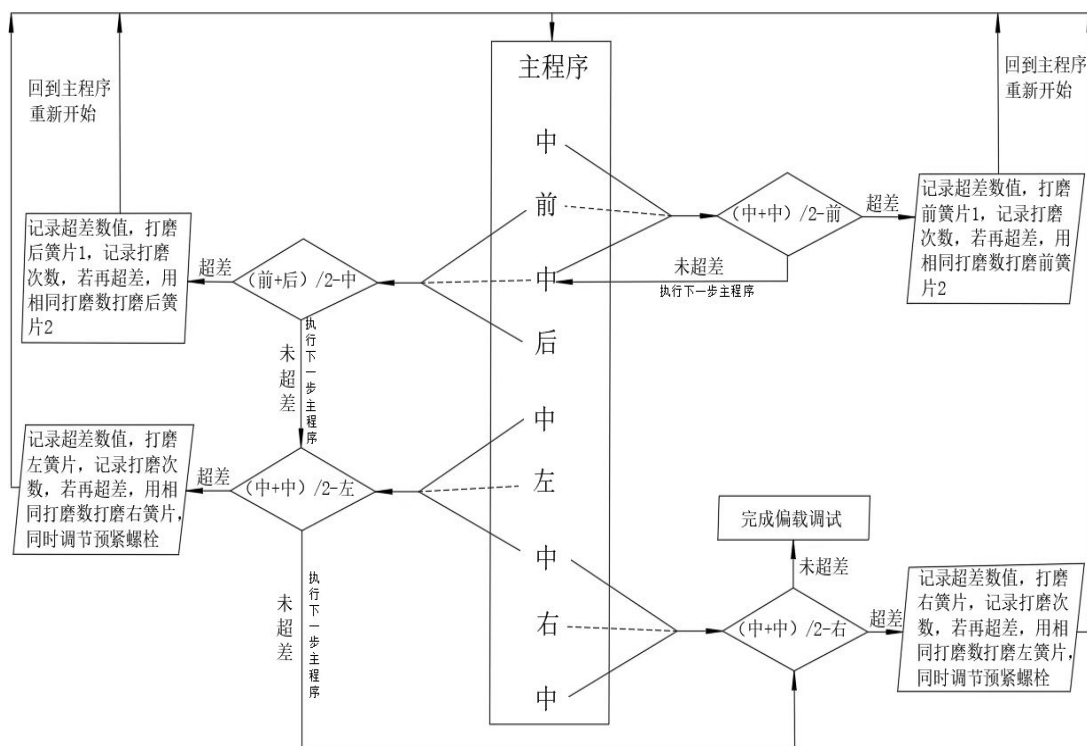


图5 称重传感器称量盘区域分布及砝码放置顺序示意图

根据单体称重传感器量程最大载荷点对其称量盘上的前、后、左、右和中间区域放置砝码, 按照中心点→前点→中心点→后点→……→中心点的顺序进行加载。其中, 中心点为基准值, 前、后、左、右四个点的称量示值要以基准值为标准进行对比, 具体措施为 $\frac{中+中}{2}-前 \leq d$; $\frac{前+后}{2}-中 \leq d$; $\frac{中+中}{2}-左 \leq d$; $\frac{中+中}{2}-右 \leq d$ (d 为电子天平分度值, 在图4中也为允差), 根据图4 流程依次进行调整, 能够高效完成该类称重传感器的偏载性能调整工作。

2.3 举例说明

在称重传感器偏载性能调整过程中, 先通过对2个预紧螺栓的预紧力进行调节, 分别将称量盘上左称量区域与右称量区域示值调整到允差范围之内。在此调整过程中, 还存在左称量区域与右称量区域示值同增同减的现象, 此时停止对预紧螺栓预紧力

的调节, 开始对称重传感器上端面4个簧片开始微量打磨工作, 可采取以下调整方法:

预紧螺栓将左称量区域与右称量区域示值调整到允差范围之内, 但前、后称量区域示值超差: 利用锉刀同时对后簧片3、后簧片4进行打磨(例如后簧片3轻锉三下, 再对后簧片4轻锉三下), 通过图4中的计算公式, 计算左、右称量区域示值是否仍在允差范围之内, 若超差则同时再对簧片3、簧片4进行打磨, 直至左、右称量区域示值恢复至允差范围之内; 若不超差, 则同时对前簧片1与前簧片2同时进行打磨, 直至前、后称量区域示值恢复至允差范围之内, 最后按照图4的加载顺序与计算方法进行验证。

预紧螺栓无法将左称量区域与右称量区域示值调整到允差范围之内, 前、后称量区域示值超差: 利用锉刀先对前簧片1进行打磨, 按照图4的加载顺序与计算方法进行, 当5个区域的示值误差变小时, 再对前簧片2进行与前簧片1打磨次数一致的打磨量,

然后再按照图4的加载顺序与计算方法进行,当5个区域的示值误差变小时,再对后簧片3与后簧片4进行上述操作,直至5个区域的称量点示值全部满足允差要求为止。

单体称重传感器加工工艺复杂,每一件单体称重传感器的力学性能都不尽相同,当完成上述两种主要偏载调整方式后偏载示值仍出现超差现象,即需要对称重传感器内腔部分的簧片进行适当打磨来对其进行修正。

3 结语

本文所提出针对赛多利斯类型的单体称重传感器偏载性能调整方法是通过大量的实验实践总结而出,能够提高该类称重传感器偏载性能的调整效率,总结出了一条切实可行的技术路线。该方法不仅可以针对新生产的单体称重传感器偏载性能的调整,还可以应用在该类称重传感器偏载性能的维修矫正工作上,为该类单体称重传感器的性能调整提

供了一种新思路。

参考文献

- [1] 王伟. 高精度电子天平系统设计[D], 北京邮电大学,2007.
- [2] 吴灿林. 电子天平的工作原理及常见故障分析. 企业技术开发[J], 2014,33(12):101-102.
- [3] 贺咏梅, 张小强等. 一体化称重传感器高精度铰链加工实验研究. 机械科学与技术[J], 2018,37(12): 1944-1947.
- [4] 陈良柱. 精密电子分析天平关键技术研究[D], 湖南大学,2018.

作者简介

刘海(1991—), 男, 毕业于西安理工大学, 现为陕西省计量科学研究院助理工程师, 国家二级注册计量师, 主要从事力学计量检测工作。